

鉄鋼組織の熱的安定性に関する研究

著者	魏 明 ？
号	882
発行年	1981
URL	http://hdl.handle.net/10097/9618

氏 名	WEY 魏	MYEONG 明	YONG 鏞
授 与 学 位	工 学 博 士		
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 57 年 3 月 25 日		
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項		
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 金属材料工学専攻		
学 位 論 文 題 目	鉄鋼組織の熱的安定性に関する研究		
指 導 教 官	東北大学教授 西沢 泰二		
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 西沢 泰二	東北大学教授 須藤 一	
	東北大学教授 増本 健		

論 文 内 容 要 旨

工業材料は一般に、使用目的に応じて化学組成が定められ、さらに、加工あるいは熱処理によって最適な組織に調整される。この加工－熱処理を熱力学的な立場から見ると、(1)加工あるいは高温からの急冷によって変形組織、マルテンサイト組織あるいは過飽和固溶体などのような熱力学的に不安定な状態とする第 1 段階の処理と、(2)焼なまし、焼もどし、時効処理などのように熱力学的にある程度安定な状態の組織とする第 2 段階の処理とよりなる。

ところで、近年省エネルギーの立場から熱処理サイクルが検討され、高温からの冷却の速度、あるいは加工しながらの冷却の速度を制御して最適組織を直接に得る方法が多くなる傾向がみられる。しかし、いずれの径路を取るにしても、最終組織の多くのものは、自由エネルギーが、ある程度高められた状態にある。したがって、規定以上の温度で加熱すると、自由エネルギーの低い状態、すなわち、分解組織、あるいは粗大な組織に次第に変化する。このような熱力学的立場からの組織の解析は、材料設計における重要な課題であって、近年、組織の安定性について特に注目が集められ、いろいろな面から研究が行なわれつつある。

しかしながら、いずれも定性的、あるいは、半定量的な検討にとどまって、いまだ十分に解析されていないのが実情である。

本研究はこのような点に着目して、鉄鋼組織の安定化過程を定量的に把握することを目的として、分散粒子と結晶粒の粗大化と、層状組織の球状化の過程を熱力学的な観点から検討した研究結果を

まとめたものである。

第1章 緒 言

第1章では、鉄鋼材料の熱処理を概括し、組織の安定性に関する熱力学的解析の重要性を述べ、本研究の目的と意義を明確にした。

第2章 鉄鋼中における炭化物のオストワルド成長

本章では、オーステナイト中における合金炭化物粒子 (Cr_7C_3 , Mo_6C , VC , NbC) の加熱に伴う成長を実測し、これらの炭化物粒子が体拡散支配のオストワルド成長則にしたがって粗大化することを確認した。すなわち、各種炭化物の粒子半径 r と加熱時間 t との関係は、定常的な成長段階においては、 r と t との間に3乗則 ($\bar{r}^3 - \bar{r}_0^3 = k_3 t$, ここで \bar{r}_0 は初期値, k_3 は成長速度定数である。) が成立することを明らかにした。

また、成長速度定数 k_3 の値を熱力学的な考察によって導出し、その値を拡散係数や炭化物の固溶度などの基本的なパラメーターを用いて推定し、実測値とかなり良く一致することを確認した。

Fig.1 は Cr_7C_3 についての結果を示したもので、 \bar{r}^3 と t とが直線関係にあり、計算値 (一点鎖線) と実測値 (実線) とが良く一致している。

なお、粒子の半径が通常の熱処理で到達し得る限界の半径 \bar{r}_a を導入し、 k_3 の値を知れば、その粒子のおおよその大きさを知ることができることを示した。

Fig. 2 は各種炭化物のオーステナイトとフェライト中における \bar{r}_a の値をアレニウス・プロットの形式で示したものである。

第3章 2相鋼における結晶粒成長

本章では、 $\alpha + r$ 2相鋼における結晶粒成長が、 α あるいは r 単相鋼の場合と比較して著しく遅いことを示し、その原因は、 α , r 両相の化学組成が異なるために、 α あるいは r 相の結晶粒が成長するためには、粒界の移動と、相界面での組成変換を伴う界面移動との複合過程によって成長するためであることを述べた。すなわち、 α あるいは r 相の成長は両相がたがいにピン止めしあいながら成長する。

したがって、これは第2章でのオストワルド成長におけると同様の機構で扱うことができることを明らかにした。つまり、 $\alpha + r$ 2相における結晶粒成長は ($\bar{r}^3 - \bar{r}_0^3 = k_3' t$ または $\bar{r}^4 - \bar{r}_0^4 = k_4' t$) によって記述され、単相鋼の場合の2乗則 ($\bar{r}^2 - \bar{r}_0^2 = k_2' t$) が成立することと全く異なることを示

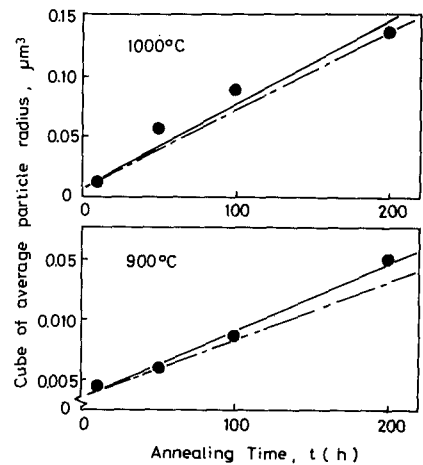


Fig.1 Cr_7C_3 の平均粒子半径と加熱時間との関係

した。

ただし、単相鋼の場合にも、微細な炭窒化物〔NbC, Nb(C, N)〕が分散している場合には、そのピン止め効果によって、3乗則が成立する。

また、2相鋼中で r 相が主相で、 α 相が副相の場合には、副相の α 相が粒界拡散支配のオストワルド成長によって成長するために、2相の α , r 両相の成長は4乗則で記述され、一方、 α 相が主相で r 相が副相の場合は、 r 相が体拡散支配のオストワルド成長によって成長するために、 α , r 両相の成長は3乗則で記述されることを示した。

なお、Fig.3は α 相が主相の2相鋼を1100℃で加熱した場合に、 α , r 両相の結晶粒成長についての実験結果である。

また、これらの成長における速度定数 k_2 , k_3 , k_4 の値の相関は、第2章で導入した到達可能 r_a を介して、統一的に比較し得ることを明確にした。

Fig.4は2相鋼の結晶粒の到達し得る半径を、単相鋼の結晶粒および炭化物粒子の到達し得る半径と比較して示したものである。

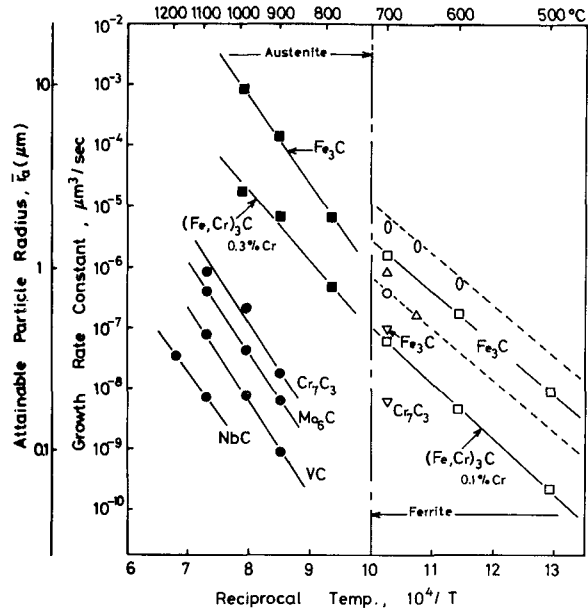


Fig.2 鉄鋼中における各種炭化物の到達可能半径

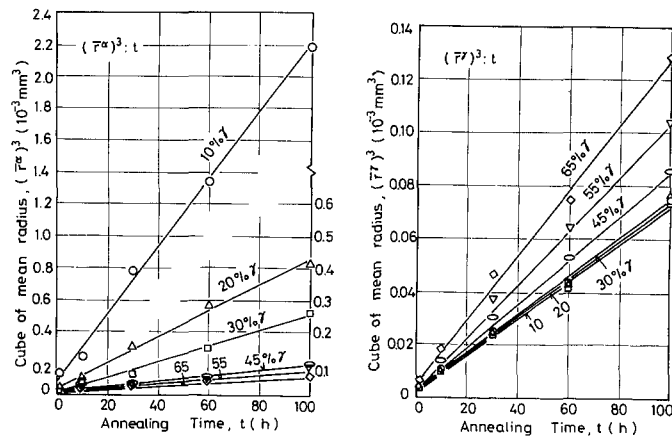


Fig.3 2相鋼の結晶粒の平均半径 \bar{r} と加熱時間 t との関係

第4章 層状共析組織の熱的安定性

本章では、典型的な層状組織を有する2種類のパーライト組織(α +炭化物, および r +炭化物)を焼なました場合の球状化の速さを、界面の総面積 S をパラメーターとして定量的に追究し、その

結果、層状組織の球状化にも、分散粒子のオストワルド成長に類似した3乗則 $[(1/S)^3 - (1/S_0)^3 = kt]$ が当てはまることを明らかにした。また、その速度定数 k は、層状組織を構成している基質層と炭化物相の組成、両相間の界面エネルギー、合金元素の拡散係数などの値にもとづいて、おおよそその値を推定し得ることを示した。

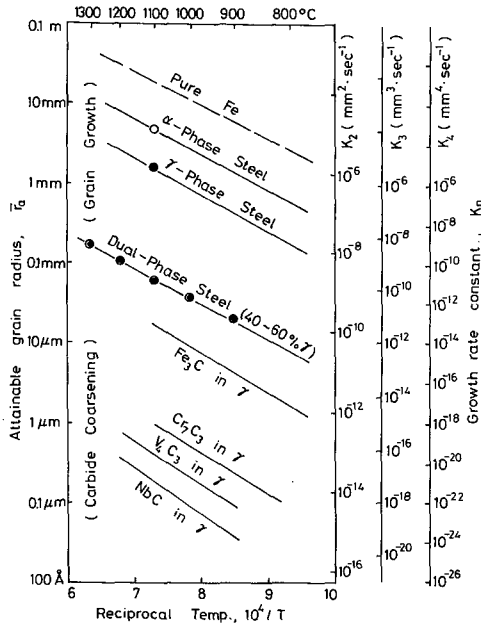


Fig. 4 結晶粒と炭化物粒子の到達可能半径

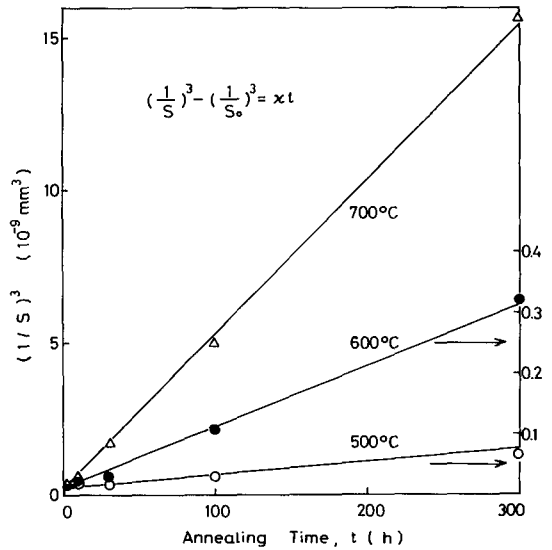


Fig.5 パーライトの球状化に伴う界面総面積 S と加熱時間 t との関係

Fig.5はFe-C系の層状パーライト組織を、500，600，700℃で長時間加熱したときに、 $(1/S)^3$ と t との関係であり、非常によい直線関係がみられる。

第5章 結 言

本章は以上の結果を総括したものである。

審 査 結 果 の 要 旨

鉄鋼材料の焼なましや焼もどし等の熱処理は、加熱による組織の安定化過程を制御して、使用目的に応じた細かさの組織に調整する操作である。著者は、この鉄鋼組織の安定化過程を定量的に把握することを目的として、分散粒子ならびに結晶粒の粗大化と、層状組織の球状化の過程について、画像解析法による実験と、熱力学的な解析を行ない、これらの組織変化を記述する速度式を導出した。本論文はその成果をまとめたもので、全編5章よりなる。

第1章は緒論であり、鉄鋼材料の熱処理を概括し、組織の安定性に関する熱力学的解析の重要性を述べ、本研究の目的と意義を明らかにしている。

第2章では、鉄鋼中に分散している各種炭化物の粒子半径 r と加熱時間 t との関係について詳細に実験した結果を示し、定常的な成長段階においては r と t の間に3乗則 ($r^3 - r_0^3 = kt$, r_0 は初期値, k は速度定数) が成立すること、したがって、体拡散律速のオストワルド成長則が当てはまることを明らかにしている。また、速度定数を熱力学的に解析して、その値を、合金元素の拡散係数、炭化物の組成と固溶度、炭化物と基質との間の界面エネルギー等の値にもとづいて計算し、実測値とかなり良く一致することを確認している。

第3章では、 $\alpha + \gamma$ 2相鋼における結晶粒成長を、 α あるいは γ 単相鋼の場合と比較して検討し、2相鋼中の主相の結晶粒は、副相の結晶粒によってピン止め効果を受けながら成長すること、副相の結晶粒は主相の結晶粒内における体拡散、または主相の結晶粒界に沿った粒界拡散によって律速されながら成長すること、この結果、主相と副相の結晶粒成長は双方ともに、3乗則または4乗則によって記述され、単相鋼の場合よりも成長速度が格段に遅いことを明らかにしている。

第4章では、典型的な層状組織を有する2種類のパーライト組織 ($\alpha + \text{炭化物}$, および $\gamma + \text{炭化物}$) の球状化過程を、画像解析法によって定量的に追究し、層状組織の球状化の過程にも、分散粒子のオストワルド成長に類似した3乗則が当てはまること、また、その速度定数は、層状組織を構成している基質相と炭化物相の組成、両相間の界面エネルギー、合金元素の拡散係数等の値にもとづいて推定し得ることを述べている。

第5章は総括である。

以上要するに、本論文は鉄鋼材料の熱処理に伴う組織の安定化過程を、定量組織学的手法と熱力学的解析によって詳細に検討し、鉄鋼材料の熱処理に関する基礎的事項を明確にしたもので、金属工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。